



Tokyo Gakugei University Repository

東京学芸大学リポジトリ

<http://ir.u-gakugei.ac.jp/>

Title	水 Rocket の中学校技術科および高等学校工業科の授業への適用可能性の検討(fulltext)
Author(s)	望月,高昭; 坂口,謙一
Citation	東京学芸大学紀要. 自然科学系, 69: 291-300
Issue Date	2017-09-29
URL	http://hdl.handle.net/2309/148251
Publisher	東京学芸大学学術情報委員会
Rights	

水ロケットの中学校技術科および高等学校工業科の 授業への適用可能性の検討

望 月 高 昭*¹・坂 口 謙 一*²

技術科学分野

(2017年5月29日受理)

MOCHIZUKI, T. and SAKAGUCHI, K.: Feasibility of Water Rockets in Technology Classes in Junior High Schools and Technical Classes in Technical High Schools. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 69: 291-300. (2017) ISSN 1880-4330

Abstract

This paper reviews the existing literature on the use of water rockets in classes and educational events to study the suitability of water rockets as teaching materials in technology classes in junior high schools and technical classes in technical high schools in Japan. It was found that water rockets are suitable as teaching materials used in technology classes in junior high schools because the instruction using water rockets satisfies the guidelines for “Energy Conversion Technologies” set forth in the curriculum guidelines for technology classes in junior high schools, issued by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT). It was found that the instruction using water rockets is also suitable as teaching materials in technical classes in technical high schools because it satisfies the guidelines for “Project Studies” set forth in the MEXT curriculum guidelines for technical classes in technical high schools.

Keywords: Water rocket, Bottle rocket, Energy conversion technology, Project study, Technology class, Technical class

Department of Technology Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨: 本稿においては、水ロケットを利用した教育に関する既存の報告のレビューにより、水ロケットを利用した教育の現状を明らかにし、その結果を用いて水ロケットの中学校技術科および高等学校工業科の授業への適用可能性を検討した。検討の結果、水ロケットは、主に「B エネルギー変換に関する技術」を満たすという点から中学校学習指導要領解説技術・家庭編の技術分野に、主に「第2節 課題研究」を満たすという点から高等学校学習指導要領解説工業編の内容に適合する教材であることが明らかになった。

*1 東京学芸大学 技術・情報科学講座 技術科学分野 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

*2 東京学芸大学 技術・情報科学講座 技術科教育学分野

1. はじめに

水ロケットもしくはボトルロケットとは、容器内に水と共に封入された圧縮空気の膨張力により容器内より容器外へと水を噴出させ、その反動を用いて容器を空中に打ち上げる遊具の総称である。ポリエチレンテレフタレート (polyethylene terephthalate) 製のボトルが用いられる場合が多いことからペットボトルロケットとも呼ばれる。ただし英語による文献検索においては水ロケット (water rocket) もしくはボトルロケット (bottle rocket) という用語を使用しなければならないことから、ペットボトルロケットという名称は日本国内でのみ意味をなす用語といえる。

“水ロケット”の実施から浮かぶイメージは、広い敷地を持つ学校・企業・団体等における広報活動の一環としての子どもを招いたイベントであろう。しかしながら、その駆動原理は中学校や高等学校の理科において学習する内容 (作用・反作用, 圧力, 気体の膨張・収縮) と関連している。また、水を噴出することにより誘起する力の大きさは、初歩的な流体力学 (水力学・水理学等を含む) において学習する「圧力」, 「流体についての質量保存則 (連続の式)」, 「非粘性流体についてのエネルギー保存則 (ベルヌーイの定理)」, 「運動量の法則」等の組み合わせにより第一次近似的に導出可能であり、初歩的な流体力学の総仕上げの問題としても相応しい。事実、JSMEテキストシリーズ演習流体力学¹⁾等の流体力学の初学者用テキストにおいても、水ロケットの駆動力を求める問題が練習問題として取り上げられている。上記のような物理学・機械工学等に関連する理論的側面を持つ一方、水ロケットは「ペットボトルと硬質な板があれば製作可能」, 「構造が比較的単純である」等の理由から、小学校の図工等における簡単なものづくりの教材としても適している。つまり、水ロケットは学習者の発達段階に応じた教材になり得ると考えられる。本稿では、水ロケットの教育利用に関する先行研究のレビューより、水ロケットの中学校技術科 (技術・家庭科技術分野) および高等学校工業科の授業への適用可能性を検討する。

2. 水ロケットと教育

2. 1 先行研究の概要

文献データベースJDreamIIIおよびCiNiiを用い先行研究を調査した。「(ボトルロケット OR 水ロケット) AND (教育 OR 授業 OR 教材)」なる式を用いた検索

の結果、JDreamIIIにて45件、CiNiiにて36件の先行研究の存在を知り得ることができた (重複は内6件)。本稿においては、同検索より得られた先行研究の中から更に選択したもの、および、他の検索 (水ロケットの運動に関する検索) により得られた先行研究のうち教育に関するものを述べていく。

水ロケットの教育利用に関する先行研究は、幾つかの視点から分類することができる。一つは研究対象による分類である。先行研究は教育用水ロケット本体や発射装置の開発に関するもの²⁻²⁰⁾ および教育の実践に関するもの²¹⁻⁵⁶⁾ に分類することができる。教育の実践に関する研究 (報告を含む) は、更に、通常の授業中を前提とするもの²¹⁻⁴⁵⁾、短期のイベント (啓蒙活動のみを調査対象とした) を前提とするもの⁴⁶⁻⁵⁶⁾ に分類される。これら教育の実践に関するものについては、学習者独自の工夫の有無という点から授業の性格が異なっているように感じられる。もう一つの分類方法は対象となる学習者の年齢によるものである。幼稚園に通う幼児を対象とした教育⁵⁹⁾ から大学の学部生を対象とした教育^{21-25, 31, 37, 39)} まで幅広い年齢層を対象とした検討が行われている。

本稿においては、先ず研究対象による分類に従って先行研究の概要を紹介する。その後、水ロケットを用いた教育がどのような教育目的のために使用されているのかを対象となる学習者の年齢に応じて紹介する。最後に、水ロケットを用いた教育の中学校技術科および高等学校工業科の授業への適用可能性を、中学校学習指導要領解説技術・家庭編⁶⁰⁾の技術分野および高等学校学習指導要領解説工業編⁶¹⁾の内容と関係づけながら述べる。

2. 2 教育用水ロケット本体・発射装置の開発

2. 2. 1 水ロケット本体

水ロケットを使用する際、安全に関する配慮が不可欠である。本体に関連する配慮事項として、飛行の安定性 (飛行中に曲がらない) が挙げられる。また学習者に水ロケットを製作させる場合、作りやすいこと、短時間で製作可能であること、および安価であること等も要求される。以下、これらに関する試みを紹介する。

武蔵工業大学の研究グループは、宇宙教育 (啓蒙活動) への適用を前提として、水ロケットの飛行安定性に関し活発な開発をおこなってきた²⁻⁹⁾。水ロケット内部に封入された水は、飛行中、揺動 (スロッシング) する。及川ら²⁾はスロッシングに起因するモーメントや推力軸の変化の水ロケットの飛行への影響を

理論的に検討している。渡邊ら³⁾はボトル内に封入された水が旋回しながら噴出されること、同旋回流により水ロケットの推力が変動すること等を明らかにすると共に、推力変動を抑えるような整流ノズルを提案・検討している。また小井沼ら⁴⁾はスロッシングの飛行特性への影響を実験的に調べると共に、渡邊ら³⁾により提案された整流ノズルの使用によりスロッシングを低減できることを明らかにしている。前述のように、推力の変動の低減により水ロケットの安定した飛行が期待される。よって、より遠くに水ロケットを飛ばすことを目指すのであれば、整流ノズルの使用は検討する価値があると考えられる。なお富田ら^{5,6)}は水ロケットの安定性に関する同グループの改良の総括を、富田⁷⁾は同グループの開発された水ロケットの作り方を紹介している。また富田ら⁸⁾は水ロケットを教具として用いた際の年齢別(小学校低学年以下、小学校高学年&中学校、高等学校以上の3段階)の教育効果を、システム構成、ものづくりとしての体験、安定な飛行をした際の達成感、科学性(水ロケットの安定性に寄与する因子、推進原理、軌道解析等)という4点から述べている。後日、渡辺ら⁹⁾は水ロケットの頭部構造や飛行時における本体の傾きの飛行特性への影響について詳細に検討している。武蔵工業大学の研究グループによる一連の検討は、主に、飛行中の安定性に寄与する——言い換えると——水ロケットを安全に飛ばすことに寄与すると言える。

水ロケットの製作において難関となる部分が飛行を安定させるために必要となる翼のとりつけである。柴田と高松¹⁰⁾はイベント(科学教室)に参加する小学生が製作可能という前提条件をおき、翼の製作方法およびその飛行特性について検討している。同グループにより提案された翼は、ロケットの翼のイメージから離れた形ではあるものの、製作が容易なため検討に値すると思われる。また、手で投げた際にきれいに滑空する水ロケットは実際の発射に際しても姿勢良く飛ぶと述べている。つまり、授業において水ロケットの改良過程を重視する場合(第4節参照)、水ロケットを頻繁に打ち上げることの可能な環境に無ければ、滑空状態を水ロケットの改良の目安にすることも考えられる。柴田と高松による検討とは目的が異なるものの、水ロケットの翼に関する検討は他にも実施されている。難波ら¹¹⁾は、日本放送協会の番組と連動させる形で、滑空する水ロケットを検討している。難波ら¹¹⁾の水ロケットの翼も、ロケットの翼のイメージから離れた形ではあるものの(ロケットというよりも、

飛行機のように見えるものの)、小学生が製作可能という前提条件があるため、製作は難しくないものと推察する。

近畿大学のグループは、公開講座(オープンキャンパス)で使用する水ロケットの構造を検討すると共に、その性能把握をおこなっている¹²⁾。公開講座等の不特定多数を対象とした啓蒙活動においては、使用する水ロケットの構造を管理することにより(参加者毎の構造の差異を無くすることにより)、その飛距離を管理することは安全面から有効であると考えられる。また論文等で水ロケットの構造(作り方)および性能を公開・共有することにより、より安全に水ロケットが使用可能になるとも期待する。

上記のような公開講座等のイベントを対象としたもの以外に、通常の授業を対象とした水ロケットの提案も存在する。堀と川村¹³⁾は、小学校・中学校の理科の授業を対象とした安価・安全な水ロケットを提案している。同ロケットはペットボトル、牛乳パック、ビニールテープにより構成されており、製作が容易と推察される。

また水ロケットの製作時間の短縮を目的とした検討も存在する。山崎ら¹⁴⁾は小学校・中学校の理科、図画工作、技術、美術の授業中における実施を前提として、短時間で製作可能な水ロケットの作り方を提案している。水ロケットを初めて作る者でも26分という短時間で製作可能な方法となっており、小学校・中学校における授業時間にも実施可能なものといえる。水ロケットの特徴の一つは短時間で製作可能という点にある。第4節で述べるように、短い製作時間は改良作業を含めた試行錯誤に適しており、教具としての水ロケットの強みの一つであるといえる。

教育用水ロケットの開発は海外においても報告されている。例えばStrienz¹⁵⁾は炭酸飲料用のペットボトルを本体とし、発泡材(コンピュータ等の梱包材)により翼やノズルを形成した水ロケットを紹介している。

水ロケットの安全な使用という観点では、水ロケットの降下時にも着目する必要がある。水ロケットを安全に降下させるため、降下時にパラシュートを使用することが提案されている。星野ら¹⁶⁾は水ロケットの内部圧力が低下した際に作動するメカニカルな圧力スイッチを提案している。星野ら¹⁶⁾による開発の動機は理解できるものの、教育用として利用するためには製作が難しいと推察される。

2. 2. 2 発射装置

発射装置に関する報告は1990年～2003年に集中している。岡田¹⁷⁾は理科教員の研修用としての発射台を、また久坂ら^{18,19)}はイベント用の安価な発射台を提案している。岡田¹⁷⁾により提案された発射台は、構造は簡単なものの、発射台と水ロケットの接続部は、水ロケット本体ノズル部にシリコン栓を挿入しただけであり、予期せずに発射する等の危うさを感じざるを得ない。久坂ら^{18,19)}は、参加した子どもらに発射台を製作させることを含めた水ロケットに関する体験型のイベントを実施している。久坂ら^{18,19)}の提案する発射台は、木などの身近な材料を用いているため、作りやすいという利点はあるものの、岡田¹⁷⁾により提案された発射台と同様に、水ロケット本体との接続部は本体ノズル部にゴム栓を挿入しただけであり、予期せずに発射する等の危うさを感じざるを得ない。ただし、同イベントにおいて小学生へのアンケートを実施しており、イベント自体は概ね肯定的な評価を得ていたようではある。提案されている安価・製作容易を目的とした発射台に共通する事項は「水ロケット本体と発射台をゴム栓のみにより接続している」ことであり、予期せずに発射する等の危うさを感じざるを得ない。坂井²⁰⁾は名古屋工業大学機械工学科1～3年生が考案・製作した発射台を子ども向けのイベントにおいて使用し、参加した子どもの意見を聞くという試みをおこなっている。坂井²⁰⁾の試みは、イベントに参加した子どもに対する教育ではなく、機械工学科1～3年生への教育という意味合いのものとなっている。記載内容から推測される構造の完成度と子どもによる人気投票の結果が異なる点で興味深い報告となっている。

2. 3 教育の実践（授業計画・報告）

水ロケットを使用した授業の例は、通常の授業を前提としたもの（実施報告、実施計画）、および宇宙教育等に関する啓蒙活動を前提としたイベントに分類される。以下、順次述べていく。なお高等専門学校や大学の新生を対象とした導入教育は「通常の授業中を前提とするもの」に分類した。

2. 3. 1 通常の授業中を前提とするもの（実施報告）

本節では、先ず通常の授業中に実施された例を、その後、新生を対象とした導入教育の例を述べる。

水ロケットの通常の授業への適用例の多くは高等専門学校や大学において実施されたものとなっている。東京工業大学土木工学科では土木工学実験において

ペットボトルコンテストを実施している²¹⁻²⁵⁾。同実験においては飛行シミュレーションや抵抗係数測定等も実施されており、ものづくりを含めた総合的な水理学（流体力学）の実験となっている²¹⁻²³⁾。浜本ら²⁴⁾は平成11年度における同コンテストの優勝者であり、同報告から体験型授業の受講学生へのインパクトが実感と共に伝わってくる。木更津工業高等専門学校では流体力学への導入教育として2年生を対象として水ロケットの飛行実験を、3年生を対象として水ロケット回りの流れの可視化実験を実施している²⁶⁻²⁸⁾。金網ら²⁸⁾の記載の通り、受講学生のアンケートから、同教育を介して受講学生が流体力学に興味を持ち始めたことが見て取れる。その他、津山工業高等専門学校においても課題研究の一部として水ロケットの設計・製作を含む実験が実施されている²⁹⁾。森ら³⁰⁾は水ロケットの設計・製作・飛行実験といった3工程を繰り返すことを提案、熊本大学の学生に対する教育を実施している（ただし授業時間の都合より、上記3工程を繰り返すことなく、複数のグループに当該3工程を1度ずつ実施させ、グループ間の比較をしている）。企業等においては設計・製作・検証（実験）の3工程を繰り返すことにより製品を開発している。より実践的な問題解決型授業を目指すのであれば、問題設定・設計・製作・実験を一通り経験するだけでなく、設計・製作・実験の繰り返しによる改良作業を経験すべきと考える。森ら³⁰⁾の提案は改良作業を意識したものづくり教育という意味で他の試みとは異なるといえる。水ロケットを用いた教育は海外においても実施されている。例えばAkins and Frederick³¹⁾は宇宙教育の一部として大学（学部）にて実施された水ロケットを用いた実験について紹介している。シミュレーションと実験が共に行われている等、本格的な工学実験となっている。

件数は多くないものの高等専門学校や大学以外においても水ロケットは用いられている。宮本³²⁾は工業高等学校の理科（物理学）の授業において水ロケットの飛行実験を実施している。同試みは高等学校の物理学で学習する質点の投げ上げの学習の一部として行われたものであり、水ロケットの利用は単なる投げ上げの手段に過ぎない（ボール等を手で投げ上げても学習目的は達成されると考えられる）。しかしながら、生徒のアンケートから、水ロケットがアイキャッチな教材であることが見て取れる。三上ら³³⁾は小学生対象のサイエンス教室および中学校において実施した「水ロケットを用いた授業」について報告している。文部科学省の観点別学習状況評価に則して、「関心・意

欲・態度」,「技能・表現」,「知識・理解」,「科学的思考」,「創造」という5つの観点への影響を調べた結果,「関心・意欲・態度」および「知識・理解」に対する効果が大きいと結論づけている。本間³⁴⁾は小学校4年生の理科の授業に水ロケットを利用することを試みている。本間³⁴⁾は結論において,受講した児童の積極的な実験への参加,積極的な意見交換や科学的思考があったこと等について記載している。三上³³⁾および本間³⁴⁾の何れの報告からも水ロケットがアイキャッチな教材であることがうかがい知れる。また形式は異なるものの藤本³⁵⁾は,小学校4年生の理科において,容器内で圧縮された空気が生み出す力について学習することを試みている。単元の構想中には水ロケットを飛ばすことが記載されているが,実際には先端を閉じたシリンダとピストンから構成される教具を用いただけのようである。

高等専門学校や大学においては,上記の通常の授業以外に,新入生の導入教育としても水ロケットが用いられている。鈴木³⁶⁾は宮城工業高等専門学校における新入生導入教育の一環として実施された水ロケットのコンテストについて報告している。同導入教育により学習の動機付けに一定の成果があったと結論づけている。森と村山³⁷⁾は,高等学校で学習する物理学の有効性を体験するという視点から,熊本大学における新入生導入教育として水ロケットを用いた講義を実施している。水ロケットの物理シミュレーションを実施する等,新入生導入教育としては高度な内容となっている。田中と小谷³⁸⁾は豊田工業高等専門学校における新入生用の導入教育に水ロケットを利用している。同教育の特徴は,設計・製作・実験・報告書作成を1サイクルとし,3サイクル実施していることにある。田中と小谷³⁸⁾は,製作が容易,尾翼の形などに独自性が出る等の理由から,学生の創意工夫がやりやすいものづくりの課題として水ロケットを選択したと述べている。田中と小谷³⁸⁾のこの視点(製作が容易,独自性が発揮しやすい)は水ロケットを積極的に教材として選ぶ理由になると考える。

以上,国内の導入教育について述べたが,水ロケットは海外の大学における新入生の導入教育としても用いられている³⁹⁾。同教育は航空工学科の新入生を対象とした教育であるが,受講対象が限定されているためか,導入教育にもかかわらず,内容がかなり専門的なものとなっている。

2. 3. 2 通常の授業中を前提とするもの(実施計画)

前節では実際に授業が実施されたものを紹介した

が,本節では教育の提案のみがおこなわれた例について紹介する。

中野⁴⁰⁾は高等学校における数学Iの授業(指導内容:二次関数)と関連付けることを目的として,水ロケットを用いた授業の指導案を提示している。同指導案には飛行実験等も含まれており,必ずしも数学の授業のみに限定される内容では無いと考えられる。渡辺⁴¹⁾は小学校4年生に水ロケットを使用した学校放送番組(日本放送協会)を視聴させることにより「空気の弾性」を理解させるための指導案を提示している。同指導案は「出会いの課題」,「追求する課題」,「解決する課題」,「発展活用する課題」という学習段階を想定し作成されている。鈴木⁴²⁾はGPSを内蔵する水ロケットを用いることにより飛行経路の把握をおこなうことを提案すると共に,飛行データを高等学校物理学Iの授業に利用することを提案している。水ロケットの軌跡を定量的に把握することにより「時間と移動距離」,「時間と速さ」の関係を得ることが可能となっている。後日,同研究グループ⁴³⁾はGPS内蔵水ロケットを用いた実験を含む高等学校の力学(物理基礎)の指導計画を提案している。増田と向⁴⁴⁾は,中学校の理科や技術科を対象とし,飛行する水ロケットの到達高さから算出される位置エネルギーと水ロケット内の圧力エネルギーを比較・検証し,それによりエネルギー変換の効率を考えるという実験を提案している。以上のように,提案されている授業の多くは,力学(理科の該当部分を含む)もしくはエネルギー(および,その変換)に関するものが多い。授業内容ではなく教具の提案ではあるが,水ロケットを用いた教育用(小学生対象)のビデオ教材⁴⁵⁾も提案・制作されている。

2. 3. 3 イベントとしての実施

水ロケットの利用に関して先ず思いつくことが,公開講座等のイベントにおける利用である。イベントにおける水ロケット利用に最も積極的な団体が宇宙航空研究機構(JAXA)である。JAXAは宇宙研究に関する啓蒙活動として水ロケットを用いたイベントを精力的におこなっている⁴⁶⁻⁵⁰⁾。同機構の竹前⁴⁶⁻⁴⁸⁾は,水ロケットを用いた教育を体験版,研究版,アイデア版の3段階に分類している。体験版は,文字通り,水ロケットの打ち上げを体験するだけの段階である。研究版は,参加者の工夫等により,より遠くに飛ぶ構造について考える段階である。竹前⁴⁶⁾は,「水ロケットは改良の効果が顕著に出る」・「安価である」等から,研究版のような問題解決型の教材に最適であると述べて

いる。アイデア版は、例えばパラシュートを開いて降りてくる等、飛ばす以外の仕組みについて考える段階である。日本宇宙少年団主催のアイデア水ロケットコンテストがこの段階に相当する。先述の武蔵工業大学の研究グループによる整流用ノズル³⁾はアイデアコンテストでグランプリを獲得した開発とのことであり、当該段階になると多くの時間と試行錯誤が必要となる。また総合研究大学院大学とJAXAのグループは水ロケットの作り方に関するDVD(指導者用マニュアル付き)⁵¹⁾を制作している。

水ロケットを用いたイベントはオープンキャンパスや公開講座という形での大学の参加下でも実施されている。森と円山⁵²⁾は子どもを対象とするイベントについて報告している。同報告では「主催者が水ロケットを発射台へ設置する」、「主催者が発射する」、「打ち上げ前に主催者が水ロケット内の圧力の確認をする」等、安全に気を配ったことが記載されている。安全管理に関しては、森と円山⁵²⁾以外のイベント報告にも記載されており(例えばJAXAのイベントでは機体審査の合格シールがある⁴⁶⁾)、水ロケットを用いた授業・イベントにおいて最も配慮しなければならないことが安全の確保であることが再認識される。森と円山⁵²⁾は「小さい子供は飛行するロケットに満足し遠くに飛ばすことには興味が無い」、「小学校中高学年の生徒は友人と飛距離を競う傾向がある」、「複数回打ち上げる子供は飛距離を伸ばす方法について自分なりのアプローチをしている」等の詳細な報告をしており興味深い。藤浪と黒木⁵³⁾は創価大学にておこなわれた小学生を対象としたイベントの報告をおこなっている。鶴飼⁵⁴⁾は学生サークルにより実施されるイベント(水ロケット教室)について報告すると共に、その問題点等を指摘している。鶴飼⁵⁴⁾は、子どもたちにとってはイベントが単なるレクリエーションになってしまっており、それにより宇宙への興味が湧いているのか疑問であると述べている。また鶴飼⁵⁴⁾は、実施後のステップ(どの様にして宇宙への興味を発展させるか)が用意されていないことも問題であると指摘している。鶴飼の指摘した問題点は、学生サークルの実施するイベントやイベント型の授業のみの問題点ではなく、水ロケットを使用した授業全体の問題であると考えられる。理科、物理学、流体力学等への更なる興味を喚起しているか、単なるレクリエーションになっていないか、水ロケットを用いた授業を実施した場合は注意する必要がある。三浦ら⁵⁵⁾は、水ロケットを製作し打ち上げるだけの体験学習では水ロケットから学習可能な事項を全て習得できないと主張し、効率よ

く水ロケットについて学習するために、「作用反作用に関する実験」、「断熱膨脹に関する実験」、「水ロケットの滑空実験」、「水ロケットのシミュレーション」等を組み合わせた授業を提案すると共に、子どもを対象とした水ロケット教室を開催している。三浦ら⁵⁵⁾は水ロケットの打ち上げを行っておらず、授業(実験)とシミュレーションに終始している。たとえ水ロケットは入口であり、その背後にある物理現象等を学ぶことが目的なのであったとしても、入口は派手である方が相応しい。単なるレクリエーションになっていないか注意する必要がある旨を上述したが、一方、打ち上げない水ロケットに意味があるのだろうか?との疑問は持たざるを得ない。

なお子どもを対象としたイベントではないが、水ロケットは理科や数学の教員を対象としたワークショップの教材としても用いられている⁵⁶⁾。

2. 3. 4 その他の教育的な試み

以上、授業(イベントを含む)を対象とした教育的な試みについて述べたが、研究者自らが水ロケットを製作・実験することにより、学習者が思いつくであろう疑問点や考察について検討した例も存在する。伊藤ら^{57, 58)}は、水ロケットについての事前調査をしないという条件下において水ロケットの製作および飛行実験を実施し、そこで生まれた疑問、および疑問についての考察結果を報告している。何れの疑問に対する答えも水ロケット(もしくは流体力学)についての知識を持った者にとっては自明のことであるが、子どもだけではなく、大人も同じような疑問を持つ様子が垣間見え、興味深い。

2. 4 学習者の年齢による分類

2. 4. 1 幼児教育を対象としたもの

清水ら⁵⁹⁾は水ロケットを用いた遊びを4歳児(幼稚園児)に実施させることにより、4歳児の科学的思考および水ロケットを用いた遊びの有用性について検討している。清水ら⁵⁹⁾によると、4歳児は水ロケットの飛行と内部の空気の間隔を同定することは可能だが、水ロケットを飛行させるための仕事と飛行に要するエネルギーの関係は理解できないとのことである。水ロケットを用いた遊びに興味や関心を示したとのことであり、この年代の子どもにとっても水ロケットがアイキャッチな教具であることが分かる。

2. 4. 2 小学生を対象としたもの

小学生を対象とした教育例として三浦ら³³⁾および

本間³⁴⁾による理科に関する授業実践、渡辺⁴¹⁾による授業の提案が存在する。一方イベント（公開講座）を対象とした例として、JAXAによる報告⁴⁶⁻⁵⁰⁾、森と円山による報告⁵²⁾、藤浪と黒木による報告⁵³⁾が存在する。理科における授業実践では、水ロケットの飛行に含まれる理科的な要素に関する理解・考察が重要視されている様子がうかがわれる。一方、イベントでは参加者の工夫等による試行錯誤がおこなわれており、結果的に体験型（問題解決型）の授業となっているように感じられる。後者（イベントの実施側）に工学系の関係者が多いことも特徴である。

2. 4. 3 中学生・高校生を対象としたもの

理科（物理学）の力学もしくは数学と関連付ける形で授業実践³²⁾および授業の提案^{40, 42-44)}が行われている。

2. 4. 4 高等専門学校生・大学生を対象としたもの

小学校・中学校・高等学校における水ロケットを用いた授業（イベントを除く）の担い手が理科の教員であったのに対し（2. 4. 2節, 2. 4. 3節参照）、高等専門学校や大学における水ロケットを用いた教育の担い手が工学系の教員になっていることが印象的である。工業高等学校の教員は言わずもがなであるが、中学校技術科の担当教員が大学において工学系の授業を履修してきているのであれば、水ロケットは中学校技術科の教員にとって馴染みのある（べき）教材と言える。

新入生を対象とするか否かにより授業の性格が異なっている。新入生を対象とする場合は導入教育としておこなわれており、設計・製作・実験（打ち上げ）がセットとなった体験型の授業となっている場合が多い³⁶⁻³⁹⁾。一方、新入生以外を対象とする場合、設計・製作・実験以外に、流体力学的要素が追加される。流体力学的な要素として追加されるものとして、抵抗係数の測定^{21, 23)}や流れの可視化²⁶⁻²⁸⁾等の実験も存在するが、最も多いものはコンピュータシミュレーション^{21-23, 25, 30, 31, 37, 39)}である。水ロケットの飛行は、初歩的な流体力学（水力学・水理学等を含む）において学習する「圧力」, 「流体についての質量保存則（連続の式）」, 「非粘性流体についてのエネルギー保存則（ベルヌーイの定理）」, 「運動量の法則」, 「流体力学的抗力」等の知識により第一次近似的に説明可能であり、第1節において述べた様に、学部学生に対する机上の演習問題としても適している。つまり、中学校技術科および高等学校工業科の授業において、流体力学的な要素を

加味したいのであれば、水ロケットは選択肢に入るものと考ええる。

3. 水ロケットと中学校技術科および高等学校工業

水ロケットを中学校技術・家庭科技術分野および高等学校工業科における授業へ適用する場合、次のような特徴を生かすことが可能もしくは必要と考える。

- (i) アイキャッチな課題である^{38, 59)}。
- (ii) 身近な材料等を利用可能（安価）^{13-15, 46-48)}。
- (iii) 製作が容易かつ短時間で済む^{14, 38)}。
- (iv) 上記 (ii), (iii) の理由から、設計・製作・実験（打ち上げ）を短時間に繰り返すことが可能。
- (v) 独自性がやすい³⁸⁾。改造の影響が顕著である^{46, 50)}。
- (vi) 初歩的な流体力学（水力学・水理学等を含む）において学習する「圧力」, 「流体についての質量保存則（連続の式）」, 「非粘性流体についてのエネルギー保存則（ベルヌーイの定理）」, 「運動量の法則」, 「流体力学的抗力」等の知識により水ロケットの運動を第一次近似的に説明可能。
- (vii) 理想気体の「断熱変化」, 「ポルトロップ変化」等の工業熱力学の基本を学習可能。

以下、水ロケットの上記特徴と中学校技術科および高等学校工業科との関係を述べる。

3. 1 中学校技術科との関係

上記特徴の (ii), (iii), (iv) は授業中における設計・製作が可能であることを意味しており、中学校学習指導要領解説技術・家庭編⁶⁰⁾の「第2節 技術分野 2 技術分野の内容 A 材料と加工に関する技術」, (3) 材料と加工に関する技術を利用した製作品の設計・製作」に該当する。特に (iv), (v) の特徴により「実践的・体験的な学習活動を通して、工夫して製作することの喜びや緻密さへのこだわりを体験させる」を達成可能と考える。設計時に製図を描くことにより「イ 構想の表示方法を知り、製作図をかくことができること。」を、製作により「ウ 部品加工、組立て及び仕上げができること。」を達成可能である。

また水ロケットは圧力エネルギーを流体の運動エネルギーに変換して飛行するため（上記特徴 (vi) および (vii) に関連）, 「第2節 技術分野 2 技術分野の内容 B エネルギー変換に関する技術 (1) エネルギー変換機器の仕組みと保守点検について、次の事項

を指導する。ア エネルギーの変換方法や力の伝達の仕組みを知ることに該当する。水ロケットを用いた教育は理科の授業においても提案・実践されているため、「小学校及び中学校の理科等におけるエネルギーに関する学習を踏まえ、関連する原理や法則が具体的にどのような機器やシステムに生かされているかを取り上げ、科学的な根拠に基づいた指導となるよう配慮する。」を満たしている。また飛行に関する流体力学的な知識を学ぶことにより、流体機械である水力や風力を利用した発電システムの特徴を知ることが可能である。特に、なぜロケット内部に水を入れるのかを考えることにより、水力発電システムと風力発電システムの流体力学的構造の相違（例えば、ペルトン水車のような衝動力を利用した大型の風車が存在しない理由等）を理解することが可能と考える。

3. 2 高等学校工業科との関係

上記特徴の(ii), (iii), (iv), (v)により製品の考案(設計), 製作, 評価(実験)といった一連の過程を体験することが可能であり, 高等学校学習指導要領解説工業編⁶¹⁾の「第2章 工業科の各科目 第1節 工業技術基礎 第2内容とその取扱い 2内容(3) 基礎的な生産技術 ア生産の流れと技術」を満たすことが可能である。(iv), (v)の特徴により「(1) 作品製作, (2) 調査, 研究, 実験」を満たすことから「第2章 工業科の各科目 第2節 課題研究」としても成立し得る。(vi), (vii)の特徴より「第2章 工業科の各科目 第5節 工業数理基礎 第2内容とその取扱い 2内容(2) 基礎的な数理処理 ア力とエネルギー イ力と釣合い ウ流れの基礎」を習得することが可能である。また流体を利用した教材であることから「第2章 工業科の各科目 第14節 原動機 第2内容とその取扱い 2内容(2) 流体機械 ア流体の性質と力学」, 「第2章 工業科の各科目 第40節 土木基礎力学 第2内容とその取扱い 2内容(3) 水理学の基礎 ア静水の性質 イ水の流れの性質と測定」, 「第2章 工業科の各科目 第45節 化学工学 第2内容とその取扱い 2内容(3) 単位操作 ア流体の輸送」の何れをも満足する。

4. おわりに

以上のように, 水ロケットは主に「B エネルギー変換に関する技術」を満たすという点から中学校学習指導要領解説技術・家庭編⁶⁰⁾の技術分野の内容に, また主に「第2節 課題研究」を満たすという点から高

等学校学習指導要領解説工業編⁶¹⁾の内容に適合する教材になり得ると考える。先述のように, 企業等においては設計・製作・検証(実験)の3工程を繰り返すことにより製品を開発している。より実践的な問題解決型授業を目指すのであれば, 問題設定・設計・製作・実験を一通り経験するだけではなく, 設計・製作・実験の繰り返しによる改良作業を経験すべきと考える。この目的のためには, 水ロケットの「身近な材料等を利用可能(安価)^{13-15, 46-48)}」, 「製作が容易かつ短時間^{14, 38)}」, 「独自性がやすい³⁸⁾。改造の影響が顕著^{46, 50)}」という特徴が生かされるであろう。懸念事項は, 実験時の安全の確保である⁵²⁾。例えば100 mの飛距離を持つ水ロケットは授業中における実験では安全面から使用し難い。飛距離10 m程度の水ロケットを用意し, 学習者に水ロケットの飛行姿勢¹⁰⁾や滑空性能¹¹⁾に関する改良を実施させるようにする等も考える必要があるであろう。

引用文献

- 1) 日本機械学会: JSMEテキストシリーズ 演習流体力学, 初版, p. 46, 日本機械学会, 東京, 2012.
- 2) 及川祥, 渡邊力夫, 竹前俊昭, 富田信之: 水ロケット飛行特性に関する一考察, 日本機械学会2000年度年次大会講演論文集, IV, pp. 529-530, 2000.
- 3) 渡邊力夫, 橋村一正, 富田信之, 竹前俊昭: 水ロケット推力特性とノズル改良設計, 日本機械学会2000年度年次大会講演論文集, IV, pp. 525-526, 2000.
- 4) 小井沼久哉, 渡邊力夫, 竹前俊昭, 富田信之: 水ロケットのスロッシング特性, 日本機械学会2000年度年次大会講演論文集, IV, pp. 527-528, 2000.
- 5) 富田信之, 清水大, 渡辺力夫, 竹前俊昭: 水ロケットのロバスト設計, 日本機械学会2003年度年次大会講演論文集, V, pp. 383-384, 2003.
- 6) N. Tomita, R. Watanabe, A. V. Nebylov: Hands-on education system using water rocket, *Acta Astronautica*, **61** (11-12), pp. 1116-1120, 2007.
- 7) 富田信之: 水ロケットによる宇宙教育実習: 水ロケットの構造と飛翔原理, 日本機械学会2003年度年次大会講演論文集, VIII, pp. 464-465, 2003.
- 8) 富田信之, 渡辺力夫, 竹前俊昭: 水ロケットによる科学技術教育システムの開発, 日本機械学会2003年度年次大会講演論文集, V, pp. 393-394, 2003.
- 9) 渡辺力夫, 富田信之, 竹前俊昭: 水ロケットの空力特性と飛行安定化について, 日本航空宇宙学会論文集, **52** (609), pp. 449-455, 2004.

- 10) 柴田洋一, 高松竹男: ペットボトルロケットの翼に関する考察, 小山工業高等専門学校研究紀要, **37**, pp. 23-28, 2005.
- 11) 難波江亮, 豊田国昭, 白濱芳郎: 有翼ペットボトルロケットの滑空・旋回実験, 日本航空宇宙学会北部支部20周年記念講演会および第8回再使用型宇宙推進系シンポジウム講演論文集, pp. 171-172, 2007.
- 12) 谷澤一雄, 山本和夫, 堀部和雄, 一野天利, 河本敬子, 青木伸也, 津村宗亨: 近大ペットボトルロケットの運動性能, 近畿大学生物理工学部紀要, **20**, pp. 29-36, 2007.
- 13) 堀文彦, 川村康文: ペットボトル水ロケットの理科教育活用: 宇宙と理科教育, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, **13**, p. 498, 2015.
- 14) 山崎光, 芳谷直治, 小林靖之: ペットボトルロケットの作成工程簡易化の研究 - カンタンに作れるペットボトルロケットをめざして -, 日本科学教育学会年会論文集, **39**, pp. 418-419, 2015.
- 15) K. Strienz: Low-cost water rocket for educational purpose: A surprising way to learn about aerospace engineering for students and teachers alike, Proceedings of TEACH SPACE 2001, International Space Station Education Conference, ESTEC, pp. 98-99, 2001.
- 16) 星野剛, 堀ノ内修三, 増中健人, 渡邊勇二: 水ロケット用圧力スイッチの提案, 日本機械学会2003年度年次大会講演論文集, **V**, pp. 385-386, 2003.
- 17) 岡田順一: 水ロケットの空気注入部の工夫例, 物理教育, **38**(1), p. 35, 1990.
- 18) 久坂哲也, 畠山真也, 伊藤歩, 吉田祥子, 八木一正: 簡易水ロケット発射台の開発とイベントでの活用, 日本物理学会講演概要集, **57**(1-2), p. 344, 2002.
- 19) 久坂哲也, 畠山真也, 伊藤歩, 吉田祥子, 八木一正: 簡易水ロケット発射台の工夫教室, 物理教育, **50**(2), pp. 115-116, 2002.
- 20) 坂井孝弘: 水ロケット用発射台の製作, 日本機械学会2003年度年次大会講演論文集, **V**, pp. 391-392, 2003.
- 21) 戸田祐嗣: "学生実験"としてのペットボトルロケットコンテスト開催の試み, 土木学会誌, **83**(9), pp. 32-35, 1998.
- 22) 戸田祐嗣, 二瓶泰雄, 日向博文, 森脇亮: ペットボトルロケットの飛行シミュレーションとそれを取り入れたコンテスト形式の授業の試み, 土木学会第53回年次学術講演会, pp. 392-393, 1998.
- 23) 二瓶泰雄, 森脇亮, 戸田祐嗣, 日向博文: 実験系授業としてのペットボトルロケットコンテスト, 東京工業大学 土木工学科研究報告, **57**, pp. 75-87, 1998.
- 24) 浜本純平, 葛西亮平, 成田舞, 上田新平, 飯島雄一, 信田智, 高浜達矢, 松川亮平, 小坂部和也, 木村俊彦: 平成11年度土木工学実験第2 ペットボトルロケットコンテスト実施報告 - 最長不倒距離への挑戦 -, 東京工業大学 土木工学科研究報告, **61**, pp. 99-102, 2000.
- 25) 森脇亮, 大澤和敏, 創造性教育としてのペットボトルロケットコンテスト, ながれ, **26**, pp. 91-95 (2007).
- 26) 石出忠輝, 金網正司: 流体力学における導入教育, 日本機械学会関東支部第10期総会講演会講演論文集, pp. 279-280, 2004.
- 27) 石出忠輝, 金網正司: 流体力学における導入教育 第2報: ペットボトルロケットの製作と流れの可視化, 日本機械学会2004年度年次大会講演論文集, **5**, pp. 387-388, 2004.
- 28) 金網正司, 石出忠輝, 森孝: 流体力学における工学導入教育の試みとその教育効果 - ペットボトルロケットの製作と流れの可視化 -, 木更津工業高等専門学校紀要, **39**, pp. 1-8, 2006.
- 29) 奥山圭一, 津山高専専門学校電子制御工学科3年生一同, 津山高専・電子制御工学科における宇宙工学教育 (ペットボトルロケットの基本飛翔性能など), 第44回日本航空宇宙学会関西・中部合同秋季大会, pp. 45-46 (2007).
- 30) 森和也, 徳臣佐衣子, 竹之内研人: ペットボトルロケット製作における設計・性能フィードバック, 平成26年度工学教育研究講演会講演論文集, pp. 598-599, 2014.
- 31) B. W. Akins, R. A. Frederick, Jr.: Undergraduate Propulsion Laboratory Project at UAH, 39th AIAA/ASME/SAE/ASEE joint propulsion conference and exhibit, paper no. AIAA2003-4501, 2003.
- 32) 宮本智: 水ロケットを用いた投げ上げ・落下の授業を行って, 物理教育, **45**(6), pp. 389-392, 1997.
- 33) 三上良太, 平山訓之, 稲葉悠季, 菅原身奈, 八木一正: ペットボトルロケットの教材としての効果と可能性に関する考察 (II), 日本理科教育学会東北支部大会講演要旨集, **44**, p. 26, 2005.
- 34) 本間理: 「空気と水の性質」の授業実践 - 矛盾を解き明かすことで, より理解を深める -, 北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要, **23**, pp. 96-101, 2011.
- 35) 藤本雅司: 教師の意図と子供の学びの融合を目指して - 小学校4年生「ペットボトルロケット・ブックをつくらう」の実践から -, 理科の教育, **649**, pp. 12-13, 2006.
- 36) 鈴木勝彦, 丹野顯, 千葉正昭: 新入生合宿オリエンテーションにおけるペットボトルロケット製作と競技, 宮城工業高等専門学校紀要, **38**, pp. 103-108, 2002.
- 37) 森和也, 村山伸樹: ペットボトルロケット製作による高校物理の体験学習, 平成24年度工学教育研究講演会講演論文集, pp. 746-747, 2012.

- 38) 田中淑晴, 小谷明: 創造的実験教育の導入について, 平成21年度工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp. 350-351, 2009.
- 39) R. de Kat, G. N. Saunders-Smits: 3, 2, 1, Launch!, Proceedings of the SEFI 37th Annual Conference 2009, pp. 1-7, 2009.
- 40) 中野好則: 水ロケット教材の高校数学Iの課題学習での活用の可能性, 日本数学教育学会誌, 93(3), pp. 19-26, 2011.
- 41) 渡辺克裕: 小学校4年生NHK学校放送番組を利用した空気の弾性: 「水ロケット」についての授業実践, 第56回宇宙科学技術連合講演会講演集, No. 1110, 2012.
- 42) 鈴木友堂, 榊田拓也, 金安優季, 岡部準子, 小栗和也: GPS ロガーを搭載したペットボトルロケットの教材利用, 第61回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, No. 18a-PA1-29, 2014.
- 43) 片山太我, 今井脩人, 小栗和也: GPS ロガーを搭載したペットボトルロケット実験を含む学習指導案の作成, 第63回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, No. 21a-P2-48, 2016.
- 44) 増田桃子, 向平和: STEM教育を目指したエネルギー変換効率を求める実験教材の開発, 日本理科教育学会四国支部会報, 33, pp. 55-56, 2015.
- 45) 今浦義久, 横田侑, 加藤好博: AV 機器利用の一事例 - ガイドビデオの制作と水ロケット教材の紹介 -, 大阪教育大学理科教育研究年報, 21, pp. 23-26, 1997.
- 46) 竹前俊昭: 宇宙教育における水ロケットとその効果, 日本航空宇宙学会誌, 53(620), pp. 282-285, 2005.
- 47) T. Takemae: The role of water rocket activities in space education and possibility in educational view, 58th International Astronautical Congress, pp. 7573-7577, 2007.
- 48) T. Takemae: Water rocket seen from educational point of view, Transaction of JSASS Space Technology Japan, 7 (ists26), pp. Tu_51-Tu_55, 2009.
- 49) 成田伸一郎, 竹前俊昭, 藤島徹: 教育的視点から見た水ロケットの可能性, 第50回宇宙科学技術連合講演会講演集, pp. 9-13, 2006.
- 50) 竹前俊昭: 水ロケットを用いた課題解決学習: コズミックカレッジでの実践例, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, 9, p. 185, 2011.
- 51) 三浦政司, 和田豊, 勝身俊之, 遠藤純夫, 秋葉倫子, 石井信明, 石井雅幸, 百瀬一郎: 宇宙教育センターにおける水ロケットDVD制作について, 第50回宇宙科学技術連合講演会講演集, pp. 1-3, 2006.
- 52) 森健太郎, 円山重直: ペットボトルロケットの製作・打ち上げ, 伝熱, 41(171), pp. 31-32, 2002.
- 53) 藤浪隆, 黒木聖司: 創価大学と宇宙教育, 第51回宇宙科学技術連合講演会講演集, No. 3J09, 2007.
- 54) 鶴飼信: 学生サークルによる宇宙教育, 第50回宇宙科学技術連合講演会講演集, pp. 24-28, 2006.
- 55) 三浦政司, 南部陽介, 杉本雅明, 上道茜, 横田創: 飛翔シミュレーションを用いた, 新しい形の水ロケット授業, 第51回宇宙科学技術連合講演会講演集, No. 3J08, 2007.
- 56) J. Lyons, V. Addison, S. Thompson: GK-12 Engineering workshop for science and math teachers, ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, No. AC2007-777, 2007.
- 57) 伊藤直之, 村上忠幸, 中野英之: ペットボトルロケット作りから見える探求学習の楽しさ, 日本理科教育学会近畿支部大会, p. 16, 2011.
- 58) 伊藤直之, 村上忠幸, 中野英之: 自由研究の知的パフォーマンスを探求学習へ, 日本理科教育学会全国大会発表論文集, 9, p. 102, 2011.
- 59) 清水鉄也, 鈴木由美子, 菅田直江, 松本信吾: 幼小連携における理科的な教材の可能性に関する研究 (1) - ペットボトルロケット活動における4歳児の科学的思考の分析 -, 学校教育実践研究, 13, pp. 195-201, 2007.
- 60) 文部科学省: 中学校学習指導要領解説技術・家庭編, 文部科学省, 2008.
- 61) 文部科学省: 高等学校学習指導要領解説工業編, 文部科学省, 2010.